Aus der Universitäts-Zahnklinik zu Würzburg
(Vorstand: Professor Dr. Reinmöller · Stellv. Leiter: Privat-Dozent Dr. Peter)

Eine Methode zur Messung der Wurzeloberfläche

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der Hohen Medizinischen Fakultät der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde

vorgelegt von:

Kurt Groß, Zahnarzt
aus Kassel

Würzburg 1937

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg.

Referent:

Privatdozent Dr. Peter.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Es ist eine auffällige Erscheinung, daß die Festigkeit resezierter Molaren weit größer ist, als man der Kürzung der Wurzeln entsprechend erwarten müßte. In den meisten Fällen zeigen diese Molaren absolute Vollwertigkeit, und der beste Beweis hierfür ist, daß sie weitgehend als Brückenpfeiler verwendet werden. Peter sagt hierzu in seiner Arbeit über „Die Wurzelspitzenresektion der Molaren": „Der Molar zeigt nach der Absetzung der Wurzelspitze keine wesentlich erhöhte Beweglichkeit in der Alveole. Bei transversalen Wackelbewegungen gibt er etwas nach, entsprechend der Zusammendrückbarkeit des Periodontiums. Bei axial-apikaler Belastung steht er fest. — Gefährlich ist es, ihn in axial-coronaler Richtung zu beanspruchen."

Die Belastungsmöglichkeit eines solchen resezierten Zahnes hängt, abgesehen von etwaigen pathologischen Veränderungen der Wurzelhaut oder des Knochens, von den gleichen biologischen und statischen Faktoren ab, wie die eines normalen Zahnorganes.

Zu den biologischen Faktoren zählen: Die Struktur des Knochens, des Zementes und die Beschaffenheit der die Periodontalspalte ausfüllenden Elemente (Sharpeysche Fasern, Gefäßschlingen). Sie sind bestimmt durch die individuellen Eigenschaften des Knochenbindegewebsapparates und durch die Konstitution. Bei vorübergehenden Krankheiten oder Gravidität sind daher erheblich kleinere Kaudruckwerte festzustellen, als unter normalen Bedingungen. Diese Faktoren stellen also keine konstanten Größen dar, und sie lassen sich in ihrer Wertigkeit nicht zahlenmäßig bestimmen.

Die statischen Faktoren hängen ab von Zahl, Achsenstellung, Länge, Krümmung und Oberfläche der Wurzeln. Hierunter spielt die Oberfläche eine dominierende Rolle. In ihr sind die Faktoren „Länge" und „Zahl" enthalten; weiterhin ist von der Größe der Oberfläche die Zahl der zur Wirkung kommenden Sharpeyschen Fasern und der als hydraulische Bremse wirkenden Gefäßknäuel abhängig. So weist Peter als Erklärung für die große Festigkeit resezierter Molaren auf die Bedeutung der Wurzeloberfläche für die Belastungsmöglichkeit eines Zahnorganes hin und bemerkt, daß bei einer Wurzelkürzung um die Hälfte noch keineswegs die Hälfte der Wurzeloberfläche geopfert wird; d. h., der Zahn geht auch nicht der Hälfte seines Bindegewebshalteapparates verlustig. — Morelli konnte nachweisen, daß

die Kaudruckkonstante*) der Wurzeloberfläche proportional ist. Diese Angabe muß jedoch mit einer gewissen Vorsicht aufgenommen werden, da die Oberflächenbestimmung *Morellis* nur mit ungenügender Genauigkeit durchgeführt wurde. Das gilt, wie ich noch zeigen werde, besonders für mehrwurzelige Zähne. Immerhin ist durch seine Versuche die Bedeutung der Wurzeloberfläche für die Belastungsmöglichkeit eines Zahnes dargestellt worden.

Es ist daher von Interesse, festzustellen, auf welche Partien der Wurzel der Hauptteil ihrer Oberfläche verteilt ist. Diese Frage ist besonders im Falle der Wurzelspitzenresektion von Bedeutung, insofern, als die Antwort darauf Auskunft über die vom statischen Gesichtspunkt noch zu verantwortende Wurzelkürzung gibt.

Zunächst ist es aber notwendig, einige Betrachtungen über die Wertigkeit der einzelnen Oberflächenzonen in bezug auf die verschiedenen Möglichkeiten der Belastungsrichtung anzustellen.

Wir wissen, daß die Sharpeyschen Fasern, die den Zahn in der Alveole halten, eine ganz bestimmte Anordnung zeigen, die der Funktion des Zahnes entspricht. Da die Fasern nur auf Zug beansprucht werden können, müssen sie jeweils möglichst in *der* Richtung verlaufen, in der die Kraft angreift, der sie entgegenwirken sollen. Die Hauptbelastung erfährt der Zahn in vertikaler Richtung nach der Wurzelspitze zu. Daher ist der weitaus größte Teil der Faserbündel in einem spitzen Winkel zwischen Knochen und Zement in dieser Belastungsrichtung ausgespannt. Nur zwei bzw. drei kleine Oberflächenzonen zeigen eine andere Anordnung: An der Wurzelspitze und in geringem Maße auch am oberen Rande des Zahnhalses befinden sich Fasern, die den Zahn in entgegengesetzter Richtung, also gegen das „Herausziehen" aus der Alveole verankern. Bei mehrwurzeligen Zähnen bestehen gleiche Verhältnisse an der Bifurkationsstelle, an der die Fasern radiär zur Kuppe des interradikulären Septums eingestellt sind. An den gleichen Oberflächenpartien (Wurzelspitze, Limbus alveolaris, Bifurkationsstelle) dienen einige Faserbündel, die im Verlaufe des Ueberganges zwischen den beiden entgegengesetzten Faserrichtungen ineinander horizontal ausgespannt sind, der Kompensierung von Kippbewegungen.

Direkt abhängig von diesen verschiedenen Richtungen der Faseranordnung ist die Breite des Periodontalspaltes; denn ein elastischer Körper kann nur dann einer Kraft entgegenwirken, wenn er deformiert worden ist. Die Größe der Reaktion ist abhängig von der Größe der Deformation. Daher

*) Die Kaudruckkonstante ist ein von Morelli eingeführter Begriff, der von ihm definiert wird als das Produkt aus der Zeit, in der bei einer bestimmten Belastung des Zahnes Schmerzen auftreten und der aufgewendeten Druckgröße.

erreicht das Periodontium seine größte Breite am Alveolenrande (0,35 mm) und um die Wurzelspitze (0,25 mm), während die geringste Breite nahe der Wurzelmitte festzustellen ist (0,2 mm). Die Verbreiterungen am Alveolenrande und an der Wurzelspitze sind notwendig, um einer Deformation der horizontalen Fasern bei Kippbewegungen Raum zu geben; die unterhalb der Wurzelspitze, um eine Verlängerung der Fasern zu ermöglichen, die den Zahn gegen das „Hineingebissenwerden" in die Alveole verankern.

Im Gegensatz zu diesem unterschiedlichen Verhalten der Sharpeyschen Fasern steht die gleichmäßig netzförmige Verteilung der knäuelartigen Endschlingen der Wurzelhautblutgefäße, die zusammen mit dem ähnlich angeordneten Lymphgefäßsystem einen hydraulischen Stoßdämpfer für das Zahnorgan darstellen, dessen Wirkung freilich auf eine plötzliche, stoßweise Belastung beschränkt ist. Bei längerer Belastungszeit haben Blut und Lymphe Zeit, durch die vielfältigen Gefäßschlingen abzufließen, und die Sharpeyschen Fasern müssen den gesamten Druck abfangen. Insofern kommt diesem Apparat als Halteorgan nur eine beschränkte Bedeutung zu.

Meine Aufgabe bestand nun darin, eine Methode zur Oberflächenbestimmung von Zahnwurzeln zu entwickeln und die Abhängigkeit der Oberfläche der Wurzel von ihrer Länge darzustellen.

Eine Zahnwurzel stellt einen mathematisch nicht definierbaren Körper dar; ihre Oberfläche läßt sich also nicht berechnen, sondern sie muß gemessen werden.

Die Frage nach einem Verfahren zum exakten Messen der Oberfläche kleiner unregelmäßiger Körper ist in der Technik bisher nicht gestellt worden; dies erklärt die Lücke, die die Meßtechnik in diesem Punkte aufweist.

Morelli, meines Wissens der einzige, der sich mit der Oberflächenbestimmung von Zahnwurzeln befaßt hat, umgeht das Problem, indem er die Wurzel als einen geometrischen Kegel annimmt, dessen Mantelfläche er nach der Formel $\pi \cdot r \cdot s$ berechnet, wobei s durch den Wert $\sqrt{r^2 + h^2}$ ausgedrückt wird. Hierin ist r gleich dem Radius der Kegelgrundfläche und h gleich der Höhe des Kegels. Bei den zwei- und dreiwurzeligen Zähnen teilt Morelli die Querschnittfläche des Zahnhalses in zwei bzw. drei Teile und berechnet zu den so erhaltenen Grundflächen die entsprechenden Kegelmäntel. Dieses Verfahren kann nur ganz ungefähre Werte liefern, denn eine Wurzel stellt nur in grober Annäherung einen geometrischen Kegel dar. Außerdem werden die komplizierten Verhältnisse an der Bifurkationsstelle nicht berücksichtigt. Trotzdem stützen sich Port-Euler in ihrem „Handbuch der Zahnheilkunde" auf die von ihm ermittelten Werte.

Um die Abhängigkeit der Oberfläche von der Länge einer Wurzel zu finden, mußten neue Wege der exakten Oberflächenmessung gesucht werden.

Grundsätzlich stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Die indirekte Messung, indem die Oberfläche zur Funktion eines physikalischen Vorganges gemacht wird, von dem man auf die Größe der Oberfläche schließen kann;
2. Die direkte Messung mit Längen- oder Flächenmaßen.

Im Rahmen der ersten Gruppe liegen z. B. folgende Methoden: Denkt man sich die Zahnwurzel von einer dünnen, überall gleich starken Metallschicht überzogen, so muß das Gewicht dieses Überzuges direkt proportional der Oberfläche sein. Das Gewicht der Metallhaut nimmt ferner direkt proportional der Oberfläche ab, wenn man den Überzug zonenweise von der Wurzelspitze aus abträgt.

Ich habe versucht, auf galvanischem Wege eine gleichmäßige Kupferhaut auf einer Wurzel niederzuschlagen. Es stellte sich jedoch heraus, daß die Stärke des Überzuges schwankte. Der Grund lag darin, daß die Wurzeloberfläche nicht mit einer homogenen, leitenden Schicht versehen werden konnte, obwohl alle in der Galvanotechnik gebräuchlichen Verfahren angewendet wurden. (Aufbürsten von Graphit, Reduktion von $AgNO_3$ mit Formaldehyd, Traubenzucker, Belichtung, Auftragen einer 0,01-mm-Silberfolie.)

Die absolut gleichmäßige Dicke des Metallüberzuges erübrigt sich, wenn man nicht sein Gewicht zur Oberflächenbestimmung benutzt, sondern ihn als Elektrode eines elektrischen Kondensators betrachtet. Zu diesem Zweck muß der metallisierte Zahn mit einer Isolationsschicht überzogen und dann in Quecksilber gehängt werden. Die Kapazität eines solchen Systemes hängt ab von der Größe (Oberfläche) der Elektroden, dem Elektrodenabstand, der Art des Dielektrikums und dem Krümmungsradius der Elektroden. Von diesen Faktoren läßt sich leider der letzte nicht exakt in Rechnung setzen, da sich bei der Bestimmung der Abhängigkeit der Oberfläche von der Länge der Wurzel deren mittlerer Krümmungsradius dauernd ändert; er wird in der Richtung von der Wurzelspitze nach dem Zahnhalse zu immer größer, und im gleichen Maße nimmt die elekrische Ladedichte ab. Man müßte also gleichzeitig stets den mittleren Krümmungsradius bestimmen und in die Kondensatorformel einsetzen. Das ist praktisch nicht durchführbar. Zu dieser Schwierigkeit kommt hinzu, daß die Unterschiede der zu messenden Kapazitätswerte sehr klein sind, und die Aufrechterhaltung konstanter Versuchsbedingungen gegenüber diesen kleinen Werten kaum möglich ist.

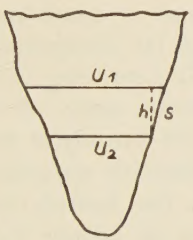
Alle anderen mir bekannten physikalischen Vorgänge, die zu der Größe einer Oberfläche in einer bestimmten Beziehung stehen, weisen viele unberechenbare Faktoren auf und sind daher zu einer genauen Messung ungeeignet.

Wenn man mit der zweiten genannten Gruppe der Meßprinzipien, der direkten Messung, arbeiten will, so ist zunächst eines zu bedenken: bei der Kleinheit des auszumessenden Objektes reichen die Genauigkeit der Instrumente und die Sicherheit des Auges nicht aus, um exakte Ergebnisse zu erhalten. Allen direkten Messungen muß daher eine Vergrößerung in einem Maßstabe vorangehen, der sich nach der Größe des Objektes richtet.

Eine reelle dreidimensionale Vergrößerung ist wegen ihrer Umständlichkeit für den Massenversuch nicht geeignet. Dagegen wäre es wohl denkbar, eine virtuelle dreidimensionale Vergrößerung mit dem von Zeiß entwickelten Meßbildverfahren zu erzielen, das zur topographischen Aufnahme von Landschaften benutzt wird. Es werden hierbei von drei verschiedenen Punkten aus Photographien von dem Gelände angefertigt. Zum eigentlichen Messen dient eine Reihe von Spezialapparaten (sog. Entzerrern), die die Berichtigung der zunächst verzerrten Größenverhältnisse in Winkeln, Strecken und Flächen der einzelnen Aufnahmen ermöglicht. Mit Hilfe dieser Geräte sieht man den abgebildeten Gegenstand plastisch und dieses virtuelle dreidimensionale Bild wird ausgemessen. Bei kleinen Objekten, wie Zahnwurzeln, wäre es also nur notwendig, die Aufnahmen vor der Vermessung zu vergrößern. Leider sind die für das Meßbildverfahren notwendigen Apparate so teuer, daß ich von ihrer Verwendung absehen mußte.

So blieb mir nur noch der Umweg über die zweidimensionale Vergrößerung unter additiver Erfassung der dritten Dimension.

Denkt man sich eine Zahnwurzel durch parallele Ebenen senkrecht zur Zahnachse in viele Schichten zerlegt, so entfällt auf jede Schicht von der gesamten Wurzeloberfläche ein Teil, dessen Größe sich aus dem mittleren Umfang der Schicht und ihrer Seitenlänge ergibt: $\frac{U_1 + U_2}{2} \cdot s$



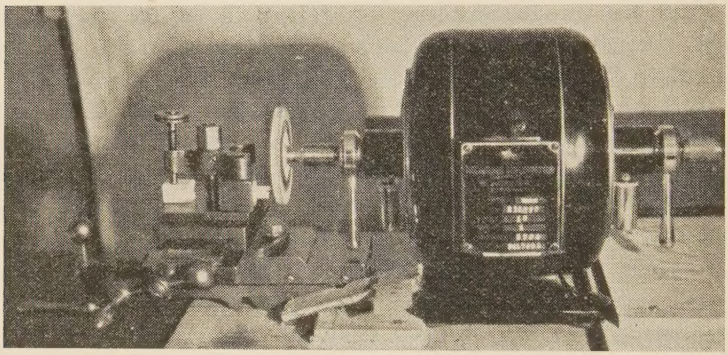
Ich habe nun an den von mir untersuchten Zähnen die mittlere Steigung der Wurzeln gemessen und festgestellt, daß sie etwa 15° beträgt. In-

folge dieses geringen Wertes darf die Seitenlänge gleich der Höhe der Schicht gesetzt werden. Der hierbei eingegangene Fehler beträgt nur $-3{,}4\,\%$, und er kann, da er bekannt ist, ausgeglichen werden.

Die Oberflächenformel lautet dann $\frac{U_1 + U_2}{2} \cdot h$, wobei die Genauigkeit der Bestimmung mit fallendem h steigt. Die Addition aller Einzeloberflächen ergibt die Wurzeloberfläche.

Die Feststellung der Schichtenumfänge geschah folgendermaßen:

Mit Hilfe einer für diesen Zweck entwickelten Vorrichtung wurde der Zahn in einen normalen Drehbanksupport mit Längs- und Querspindel



eingespannt. Senkrecht zu der mit einer 0,1-mm-Teilung versehenen Längsspindel lief eine Schleifscheibe auf der Achse eines hochtourigen Elektromotors, der unverschieblich zum Supportbett montiert war. Die Wurzel wurde nun von der Spitze aus in parallelen Ebenen bestimmter Höhe abgeschliffen und, nachdem durch die Querspindel der Zahn von der Schleifscheibe wegbewegt war, der Umfang jeder Schlifffläche durch einen Abdruck festgehalten. Das Abdrucknehmen mußte mit besonderer Sorgfalt geschehen, da hiervon im wesentlichen die Genauigkeit der nachfolgenden Messung abhängt. Ich habe die Schlifffläche mit einer dünnen Farbschicht überzogen und mit Hilfe eines Scharnieres, das senkrecht unter den Zahn befestigt war, ein Stückchen Ölpapier gegen die gefärbte Schlifffläche gedrückt. Diese Ölpapierdrucke projizierte ich durch einen verzerrungsfrei arbeitenden Vergrößerungsapparat auf eine Mattscheibe und stellte mit einem Wegstreckenmesser die Länge der zehnfach vergrößerten Umfänge fest.

Das Abdruckverfahren wurde erst gewählt, nachdem sich herausgestellt hatte, daß die Photographie der Schlifffläche und deren Vergrößerung keine genaueren Ergebnisse liefert.

Die Schliffhöhe betrug an den Stellen starker Steigungsänderung (Wurzelspitze, Bifurkationsstelle) 0.5 mm, sonst 1 mm. Alle Schlifflächen lagen parallel zur mittleren Schmelz-Zementgrenze (d. h. senkrecht zur Zahnachse).

Die gefundenen Umfangswerte wurden in die Formel $\frac{U_1 + U_2}{2} \cdot h$ eingesetzt und die errechneten Zahlen in ein Diagramm eingetragen. Bei allen Zähnen, bei denen wegen einer gleichmäßigen Steigung die Schliffhöhe konstant gehalten werden konnte, war es möglich, die gemessenen Umfänge direkt in die graphische Darstellung einzusetzen.

Um Vergleichsmöglichkeiten zwischen den einzelnen Zähnen und deren Oberflächenkurven zu bieten, habe ich in allen Zeichnungen den gleichen Maßstab beibehalten. Auf der Abszisse bedeutet 1 cm = 1 mm Schliffhöhe, auf der Ordinate 1 cm = 20 mm^2. Die Photographien stellen die untersuchten Zähne in je zwei Ansichten in natürlicher Größe dar.

Bei den zwei- und dreiwurzeligen Zähnen habe ich neben der Kurve für die gesamte Oberfläche die der einzelnen Wurzeln eingetragen. Die Darstellung der Wurzeloberflächen reicht jeweils bis zu dem Punkte, an dem das Querschnittbild eine Verbindung zweier Wurzeln zeigte.

Ich habe von jedem Zahntyp je zwei besonders charakteristische Kurven ausgewählt und die Untersuchungsergebnisse sämtlicher Zähne in Tabellen niedergelegt. Aus diesen Einzelwerten habe ich für die verschiedenen Zahntypen die Durchschnittswerte errechnet.

Zur Untersuchung gelangten:

1. unt. Mol. : 8 Stck.	1. ob. Mol. : 5 Stck.
2. „ „ : 4 „	2. „ „ : 7 „
3. „ „ : 2 „	3. „ „ : 3 „

ob. Eckzahn: 1 Stck.

1.

1. unt. Mol.

Gesamtlänge: 13 mm
Gesamtoberfläche: 422 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,63 mm	1/17,58 = 24 mm²	2,19 : 1
1/6 = 2,17 „	1/11,4 = 37 „	1,9 : 1
1/4 = 3,25 „	1/8,39 = 66 „	1,59 : 1
1/3 = 4,33 „	1/4,18 = 101 „	1,39 : 1
1/2 = 6,5 „	1/2,38 = 178 „	1,19 : 1

2.

1. unt. Mol.

Gesamtlänge: 14 mm
Gesamtoberfläche: 420,3 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,75 mm	1/15,55 = 27 mm²	1,94 : 1
1/6 = 2,33 „	1/10,77 = 39 „	1,76 : 1
1/4 = 3,5 „	1/6,27 = 67 „	1,57 : 1
1/3 = 4,66 „	1/4,2 = 100 „	1,4 : 1
1/2 = 7 „	1/2,45 = 171 „	1,23 : 1

3.

1. unt. Mol.

Gesamtlänge: 12,5 mm
Gesamtoberfläche: 390,7 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,56 mm	1/23 = 17 mm²	2,87 : 1
1/6 = 2,08 „	1/13,48 = 29 „	2,24 : 1
1/4 = 3,13 „	1/7,11 = 55 „	1,78 : 1
1/3 = 4,17 „	1/4,14 = 85 „	1,38 : 1
1/2 = 6,25 „	1/2,53 = 154 „	1,27 : 1

4.

1. unt. Mol.

Gesamtlänge: 13,5 mm
Gesamtoberfläche: 382,7 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
$^1/_8$ = 1,68 mm	$^1/_{16,65}$ = 22,5 mm²	2,08 : 1
$^1/_6$ = 2,25 „	$^1/_{11,60}$ = 33 „	1,93 : 1
$^1/_4$ = 3,38 „	$^1/_{6,38}$ = 60 „	1,59 : 1
$^1/_3$ = 4,5 „	$^1/_{4,3}$ = 89 „	1,43 : 1
$^1/_2$ = 6,75 „	$^1/_{2,42}$ = 158 „	1,21 : 1

5.

1. unt. Mol.

Gesamtlänge: 12 mm
Gesamtoberfläche: 344,9 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
$^1/_8$ = 1,5 mm	$^1/_{28,75}$ = 12 mm²	3,59 : 1
$^1/_6$ = 2 „	$^1/_{16,43}$ = 21 „	2,74 : 1
$^1/_4$ = 3 „	$^1/_{7,75}$ = 44 „	2,58 : 1
$^1/_3$ = 4 „	$^1/_5$ = 69 „	1,66 : 1
$^1/_2$ = 6 „	$^1/_{2,6}$ = 133 „	1,3 : 1

6.

1. unt. Mol.

Gesamtlänge: 13,5 mm
Gesamtoberfläche: 382,7 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
$^1/_8$ = 1,68 mm	$^1/_{22,63}$ = 16 mm²	2,83 : 1
$^1/_6$ = 2,25 „	$^1/_{14,87}$ = 27 „	2,48 : 1
$^1/_4$ = 3,38 „	$^1/_{7,51}$ = 51 „	1,88 : 1
$^1/_3$ = 4,5 „	$^1/_{4,78}$ = 80 „	1,59 : 1
$^1/_2$ = 6,75 „	$^1/_{2,6}$ = 147 „	1,3 : 1

7.

1. unt. Mol.

Gesamtlänge: 13,5 mm
Gesamtoberfläche: 350,8 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,68 mm	1/18,47 = 19 mm²	2,31 : 1
1/6 = 2,25 „	1/11,7 = 30 „	1,91 : 1
1/4 = 3,38 „	1/6,5 = 54 „	1,62 : 1
1/3 = 4,5 „	1/4,33 = 81 „	1,44 : 1
1/2 = 6,75 „	1/2,42 = 145 „	1,21 : 1

8.

1. unt. Mol.

Gesamtlänge: 13,5 mm
Gesamtoberfläche: 329,5 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,68 mm	1/20,62 = 16 mm²	2,58 : 1
1/6 = 2,25 „	1/13,2 = 25 „	2,2 : 1
1/4 = 3,38 „	1/7,5 = 44 „	1,88 : 1
1/3 = 4,5 „	1/4,85 = 68 „	1,62 : 1
1/2 = 6,75 „	1/2,62 = 126 „	1,31 : 1

9.

2. unt. Mol.

Gesamtlänge: 12,5 mm
Gesamtoberfläche: 364,6 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,56 mm	1/19,21 = 19 mm²	2,40 : 1
1/6 = 2,08 „	1/11,77 = 31 „	1,96 : 1
1/4 = 3,13 „	1/6,08 = 60 „	1,52 : 1
1/3 = 4,17 „	1/3,98 = 92 „	1,33 : 1
1/2 = 6,25 „	1/2,29 = 159 „	1,15 : 1

10.

2. unt. Mol.

Gesamtlänge: 11 mm
Gesamtoberfläche: 302,1 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,37 mm	1/25,16 = 12 mm²	3,14 : 1
1/6 = 1,83 „	1/15,1 = 20 „	2,52 : 1
1/4 = 2,75 „	1/7,55 = 40 „	1,89 : 1
1/3 = 3,66 „	1/4,64 = 65 „	1,55 : 1
1/2 = 5,5 „	1/2,48 = 122 „	1,24 : 1

11.

2. unt. Mol.

Gesamtlänge: 12,5 mm
Gesamtoberfläche: 356,5 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,56 mm	1/22,29 = 17 mm²	2,78 : 1
1/6 = 2,08 „	1/12,75 = 28 „	2,12 : 1
1/4 = 3,13 „	1/7,14 = 50 „	1,78 : 1
1/3 = 4,17 „	1/4,63 = 77 „	1,54 : 1
1/2 = 6,25 „	1/2,57 = 139 „	1,29 : 1

12.

2. unt. Mol.

Gesamtlänge: 13 mm
Gesamtoberfläche: 342,1 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,63 mm	1/22,8 = 15 mm²	2,85 : 1
1/6 = 2,17 „	1/13,68 = 25 „	2,28 : 1
1/4 = 3,25 „	1/7,28 = 47 „	1,82 : 1
1/3 = 4,33 „	1/4,60 = 73 „	1,53 : 1
1/2 = 6,5 „	1/2,61 = 131 „	1,31 : 1

13.

3. unt. Mol.

Gesamtlänge: 12 mm
Gesamtoberfläche: 193,2 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,25 mm	1/14,85 = 13 mm²	1,86 : 1
1/6 = 1,66 „	1/10,15 = 19 „	1,69 : 1
1/4 = 2,5 „	1/6,03 = 32 „	1,51 : 1
1/3 = 3,33 „	1/4,18 = 46 „	1,39 : 1
1/2 = 5 „	1/2,47 = 78 „	1,24 : 1

14.

3. unt. Mol.

Gesamtlänge: 7,5 mm
Gesamtoberfläche: 121,3 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 0,93 mm	1/22 = 5,5 mm²	2,75 : 1
1/6 = 1,25 „	1/15,12 = 8 „	2,52 : 1
1/4 = 1,87 „	1/7,56 = 16 „	1,89 : 1
1/3 = 2,5 „	1/5,04 = 24 „	1,68 : 1
1/2 = 3,75 „	1/2,81 = 43 „	1,41 : 1

15.

1. ob. Mol.

Gesamtlänge: 15,5 mm
Gesamtoberfläche: 556,4 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,93 mm	1/19,85 = 28 mm²	2,48 : 1
1/6 = 2,58 „	1/11,83 = 47 „	1,94 : 1
1/4 = 3,87 „	1/6,38 = 87 „	1,59 : 1
1/3 = 5,17 „	1/4,18 = 133 „	1,39 : 1
1/2 = 7,75 „	1/2,31 = 240 „	1,16 : 1

16.

1. ob. Mol.

Gesamtlänge: 13,5 mm
Gesamtoberfläche: 482,2 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,68 mm	1/25,36 = 19 mm²	3,17 : 1
1/6 = 2,25 „	1/16,06 = 30 „	2,68 : 1
1/4 = 3,38 „	1/8,17 = 59 „	2,04 : 1
1/3 = 4,5 „	1/5,12 = 94 „	1,37 : 1
1/2 = 6,75 „	1/2,66 = 181 „	1,33 : 1

17.

1. ob. Mol.

Gesamtlänge: 13,5 mm
Gesamtoberfläche: 452 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,68 mm	1/25,1 = 18 mm²	3,13 : 1
1/6 = 2,25 „	1/17,38 = 26 „	2,89 : 1
1/4 = 3,38 „	1/8,86 = 51 „	2,21 : 1
1/3 = 4,5 „	1/5,31 = 85 „	1,77 : 1
1/2 = 6,75 „	1/2,7 = 167 „	1,35 : 1

18.

1. ob. Mol.

Gesamtlänge: 14 mm
Gesamtoberfläche: 465 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,75 mm	1/35,7 = 13 mm²	4,46 : 1
1/6 = 2,33 „	1/19,37 = 24 „	3,23 : 1
1/4 = 3,5 „	1/8,77 = 53 „	2,19 : 1
1/3 = 4,66 „	1/5,28 = 88 „	1,76 : 1
1/2 = 7 „	1/2,67 = 174 „	1,34 : 1

19.

1. ob. Mol.

Gesamtlänge: 17 mm
Gesamtoberfläche: 534,1 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 2,15 mm	1/31,41 = 17 mm²	3,92 : 1
1/6 = 2,83 „	1/18,41 = 29 „	3,07 : 1
1/4 = 4,25 „	1/8,34 = 64 „	2,09 : 1
1/3 = 5,67 „	1/5,08 = 105 „	1,69 : 1
1/2 = 8.5 „	1/2,58 = 206 „	1,29 : 1

20.

2. ob. Mol.

Gesamtlänge: 12 mm
Gesamtoberfläche: 422,8 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,5 mm	1/25,8 = 16,4 mm²	3,22 : 1
1/6 = 2 „	1/13,87 = 30,5 „	2,31 : 1
1/4 = 3 „	1/6,6 = 64 „	1,65 : 1
1/3 = 4 „	1/4,18 = 102 „	1,39 : 1
1/2 = 6 „	1/2,27 = 186 „	1,14 : 1

21.

2. ob. Mol.

Gesamtlänge: 11,5 mm
Gesamtoberfläche: 352,0 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,43 mm	1/18,52 = 19 mm²	2,32 : 1
1/6 = 1,91 „	1/11,73 = 30 „	1,92 : 1
1/4 = 2,87 „	1/6,07 = 58 „	1,52 : 1
1/3 = 3,83 „	1/4,14 = 85 „	1,38 : 1
1/2 = 5,75 „	1/2,34 = 150 „	1,17 : 1

22.

2. ob. Mol.

Gesamtlänge: 12 mm
Gesamtoberfläche: 378 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,5 mm	1/23,62 = 16 mm²	2,95 : 1
1/6 = 2 „	1/14,54 = 26 „	2,62 : 1
1/4 = 3 „	1/7,15 = 53 „	1,79 : 1
1/3 = 4 „	1/4,44 = 85 „	1,46 : 1
1/2 = 6 „	1/2,4 = 157 „	1,2 : 1

23.

2. ob. Mol.

Gesamtlänge: 13 mm
Gesamtoberfläche: 439,7 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,63 mm	1/36,6 = 12 mm²	4,5 : 1
1/6 = 2,17 „	1/20 = 22 „	3,33 : 1
1/4 = 3,25 „	1/8,46 = 52 „	2,12 : 1
1/3 = 4,33 „	1/4,78 = 92 „	1,59 : 1
1/2 = 6,5 „	1/2,46 = 179 „	1,23 : 1

24.

2. ob. Mol.

Gesamtlänge: 12,5 mm
Gesamtoberfläche: 390,7 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,56 mm	1/32,6 = 12 mm²	4,08 : 1
1/6 = 2,08 „	1/17,7 = 22 „	2,91 : 1
1/4 = 3,13 „	1/7,68 = 61 „	1,92 : 1
1/3 = 4,17 „	1/4,66 = 84 „	1,55 : 1
1/2 = 6,25 „	1/2,41 = 162 „	1,21 : 1

25.

2. ob. Mol.

Gesamtlänge: 13,5 mm
Gesamtoberfläche: 442 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,68 mm	1/24,5 = 18 mm²	3,06 : 1
1/6 = 2,25 „	1/14,7 = 30 „	2,45 : 1
1/4 = 3,38 „	1/7,7 = 57 „	1,92 : 1
1/3 = 4,5 „	1/5 = 89 „	1,66 : 1
1/2 = 6,75 „	1/2,5 = 177 „	1,25 : 1

26.

2. ob. Mol.

Gesamtlänge: 13 mm
Gesamtoberfläche: 370,2 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,63 mm	1/37 = 10,0 mm²	4,12 : 1
1/6 = 2,17 „	1/19,4 = 19 „	3,23 : 1
1/4 = 3,25 „	1/9,03 = 41 „	2,26 : 1
1/3 = 4,33 „	1/5,21 = 71 „	1,74 : 1
1/2 = 6,5 „	1/2,66 = 139 „	1,33 : 1

27.

3. ob. Mol.

Gesamtlänge: 12,5 mm
Gesamtoberfläche: 319,2 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8 = 1,56 mm	1/17,77 = 18 mm²	2,22 : 1
1/6 = 2,08 „	1/13,3 = 24 „	2,22 : 1
1/4 = 3,13 „	1/7,42 = 43 „	1,86 : 1
1/3 = 4,17 „	1/4,76 = 67 „	1,59 : 1
1/2 = 6,25 „	1/2,48 = 124 „	1,24 : 1

28.

3. ob. Mol.

Gesamtlänge: 9 mm
Gesamtoberfläche: 129,7 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
$^1/_8$ = 1,12 mm	$^1/_{10}$ = 13 mm²	1,25 : 1
$^1/_6$ = 1,5 „	$^1/_{6,94}$ = 18,7 „	1,14 : 1
$^1/_4$ = 2,25 „	$^1/_{3,82}$ = 34 „	0,96 : 1
$^1/_3$ = 3 „	$^1/_{2,55}$ = 51 „	0,85 : 1
$^1/_2$ = 4,5 „	$^1/_{1,88}$ = 69 „	0,94 : 1

29.

3. ob. Mol.

Gesamtlänge: 10,5 mm
Gesamtoberfläche: 186,9 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
$^1/_8$ = 1,31 mm	$^1/_{37}$ = 5 mm²	4,12 : 1
$^1/_6$ = 1,75 „	$^1/_{20,55}$ = 9 „	3,42 : 1
$^1/_4$ = 2,62 „	$^1/_{8,8}$ = 21 „	2,2 : 1
$^1/_3$ = 3,5 „	$^1/_{5,6}$ = 33 „	1,87 : 1
$^1/_2$ = 5,25 „	$^1/_{2,89}$ = 64 „	1,4 : 1

30.

ob. Eckzahn

Gesamtlänge: 21 mm
Gesamtoberfläche: 344,6 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
$^1/_8$ = 2,62 mm	$^1/_{17,02}$ = 20 mm²	2,13 : 1
$^1/_6$ = 3,5 „	$^1/_{13,07}$ = 29 „	2,17 : 1
$^1/_4$ = 5,25 „	$^1/_{6,9}$ = 50 „	1,72 : 1
$^1/_3$ = 7 „	$^1/_{4,72}$ = 73 „	1,57 : 1
$^1/_2$ = 10,5 „	$^1/_{2,67}$ = 129 „	1,33 : 1

Durchschnittswerte für 1. obere Molaren

Gesamtlänge: 14,7 mm
Gesamtoberfläche: 497,9 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8	1/22,44	3,43 : 1
1/6	1/16,56	2,76 : 1
1/4	1/8,08	2,02 : 1
1/3	1/4,77	1,59 : 1
1/2	1/2,58	1,29 : 1

Durchschnittswerte für 2. obere Molaren

Gesamtlänge: 12,5 mm
Gesamtoberfläche: 399,3 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8	1/35,68	3,46 : 1
1/6	1/15,24	2,54 : 1
1/4	1/7,32	1,88 : 1
1/3	1/4,62	1,54 : 1
1/2	1/2,44	1,22 : 1

Durchschnittswerte für 3. obere Molaren

Gesamtlänge: 10,7 mm
Gesamtoberfläche: 211,9 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8	1/20,24	2,53 : 1
1/6	1/13,56	2,26 : 1
1/4	1/6,68	1,67 : 1
1/3	1/4,29	1,43 : 1
1/2	1/2,38	1,19 : 1

Durchschnittswerte für 1. untere Molaren

Gesamtlänge: 13,2 mm
Gesamtoberfläche: 378 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8	1/20,4	2,55 : 1
1/6	1/13,02	2,17 : 1
1/4	1/7,24	1,81 : 1
1/3	1/4,47	1,49 : 1
1/2	1/2,5	1,25 : 1

Durchschnittswerte für 2. untere Molaren

Gesamtlänge: 12,3 mm
Gesamtoberfläche: 341,3 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8	1/22,8	2,79 : 1
1/6	1/13,2	2,22 : 1
1/4	1/70	1,75 : 1
1/3	1/4,3	1,44 : 1
1/2	1/2,5	1,25 : 1

Durchschnittswerte für 3. untere Molaren

Gesamtlänge: 8,75 mm
Gesamtoberfläche: 157,3 mm²

Längenverlust	Oberflächenverlust	Längenverl. : Oberflächenverl.
1/8	1/18,48	2,31 : 1
1/6	1/12,7	2,11 : 1
1/4	1/6,8	1,7 : 1
1/3	1/4,6	1,54 : 1
1/2	1/2,66	1,33 : 1

Aus diesen Tabellen ist folgendes zu entnehmen: Bei einer Wurzelkürzung um $^1/_2$ ist das Verhältnis zwischen Oberflächen- und Längenverlust bei allen ersten und zweiten Molaren annähernd das gleiche, während es bei einer geringeren Kürzung ($^1/_8$, $^1/_6$) für die oberen ersten und zweiten Molaren günstiger ist. Ein Längenverlust um $^1/_3$ der bei Resektionen wohl am häufigsten eintretenden Kürzung, bedeutet für den ersten und zweiten unteren Molaren einen Oberflächenverlust von $^1/_{4,5}$, für den ersten und zweiten oberen Molaren von $^1/_{4,7}$. Die Verhältniszahlen für die Weisheitszähne sind nur von beschränkter Bedeutung; denn die außerordentliche Vielfältigkeit ihrer Wurzelgestaltung erlaubt kaum die Ermittlung von Durchschnittswerten.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Wertigkeit der einzelnen Wurzeloberflächenzonen in bezug auf die Verankerung der Zähne (s. Seiten 4 u. 5) ergibt sich, daß das Verhältnis des Oberflächenverlustes zum Längenverlust noch eine Verschiebung zu Gunsten der für eine vertikale Belastungsrichtung bedeutungsvollen Oberfläche erfährt; denn die bei der Resektion abgesetzte Wurzelspitzenkuppe hat für diese Belastungsrichtung keine Bedeutung. Wie groß der Oberflächenverlust bei den verschiedenen Längenkürzungen zahlenmäßig ist, kann man auf den graphischen Darstellungen, den Photographien und den Tabellen ablesen. Diese Werte bestätigen die eingangs ausgesprochene Vermutung, daß die erstaunlich hohe Belastungsmöglichkeit resezierter Molaren auf eine der Wurzelkürzung nicht entsprechende Oberflächenverringerung zurückzuführen ist.

Die Messungen für die gesamte Wurzeloberfläche ergaben wesentlich höhere Werte als die Berechnungen Morellis. Die geringe Zahl der untersuchten Zähne läßt jedoch die Aufstellung neuer Durchschnittswerte nicht zu. Es ist vielleicht eine lohnende Aufgabe, nach einer größeren Reihenuntersuchung die Morellischen Tabellen zu korrigieren.

Die Numerierung der Tabellen stimmt mit der der Zeichnungen überein.

Die Zeichnungen 20 und 26 zeigen bei ihrem Vergleich die Bedeutung einer Hyperzementose für die Wurzeloberfläche.

Am Schlusse meiner Arbeit möchte ich Herrn Privatdozent Dr. Peter für die gütige Überlassung des Themas und freundliche Hilfeleistung bei der Durchführung der Arbeit meinen aufrichtigsten Dank aussprechen.

Literaturangabe

Meyer:	Normale Histologie und Entwicklungsgeschichte der Zähne des Menschen, 1932.
Morelli:	Ueber Kaudruck. Wiener Vjschr. f. Zhk. H. 4, 1920.
Mühlreiter:	Anatomie des menschlichen Gebisses, 1928.
Peter:	Die Wurzelspitzenresektion der Molaren, 1936.
Pfannhäuser:	Die elektrolytischen Metallniederschläge, 1922.
Port-Euler:	Lehrbuch der Zahnheilkunde, 1929.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit ehrenwörtlich, daß ich vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt, auch keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die darin angeführte Literatur benutzt habe.

Kurt Groß.

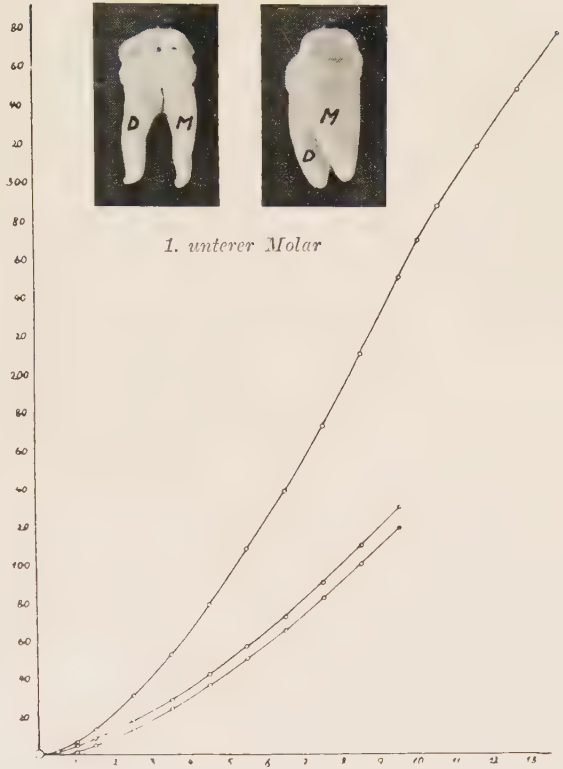
Lebenslauf

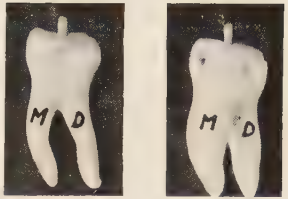
Ich, Kurt Groß, geboren am 16. November 1912 zu Schlüchtern als Sohn des Schulrates August Groß und dessen Ehefrau Else, geb. Steinmeyer, besuchte nach vier Grundschuljahren die Oberrealschule zu Fulda und legte dort Ostern 1932 die Reifeprüfung ab. Nach sechsmonatiger Tätigkeit als Hochschulpraktikant belegte ich zwei Semester Maschinenbau an der Technischen Hochschule zu München. Im Wintersemester 1934/35 wechselte ich das Studienfach und begann an der Universität Würzburg das Studium der Zahnheilkunde, wo ich im Herbst 1936 das Staatsexamen ablegte.

Würzburg, im April 1937.

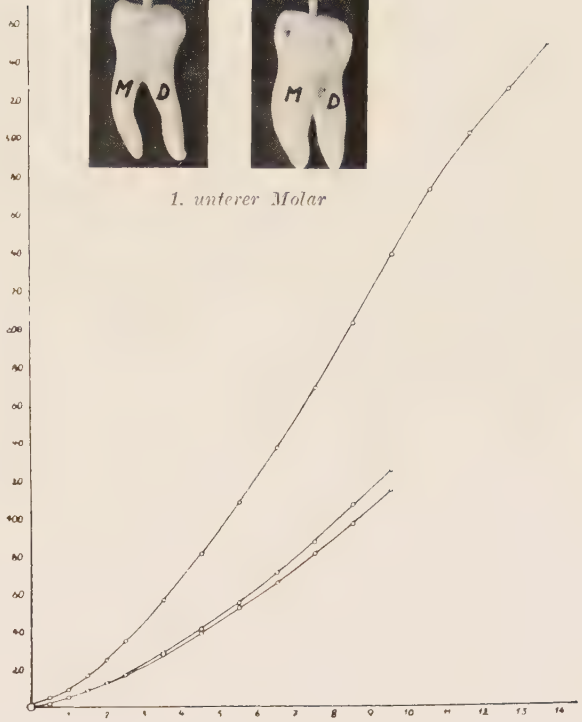
Druck: Stückrath & Co., Berlin-Spandau

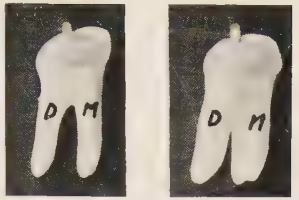
1. unterer Molar



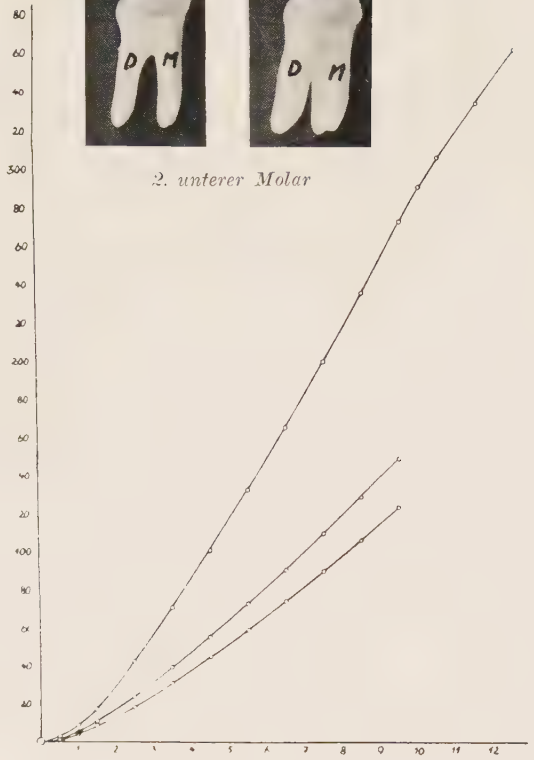


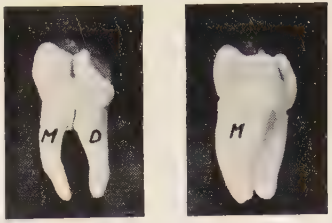
1. unterer Molar



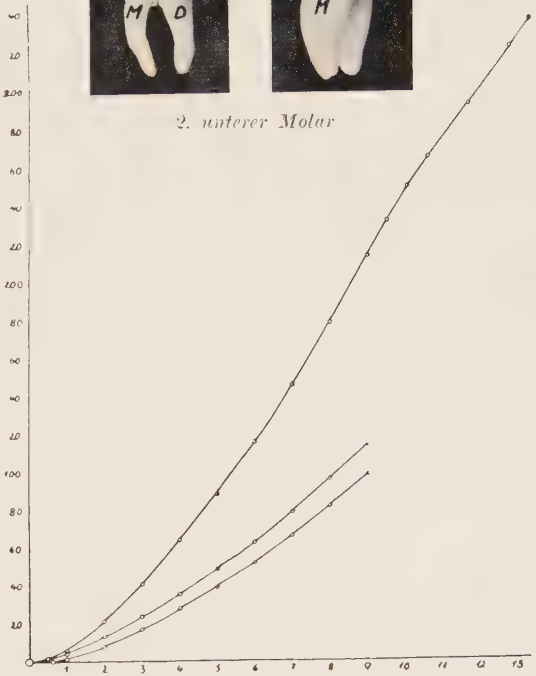


2. unterer Molar

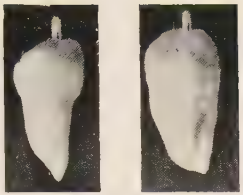




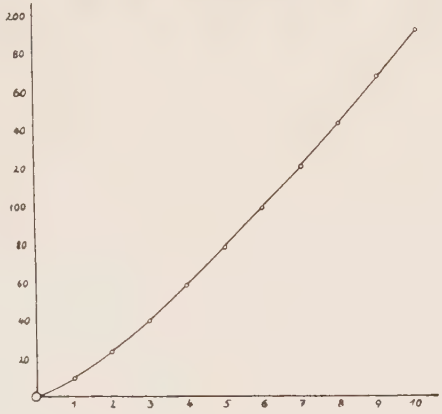
2. unterer Molar



13

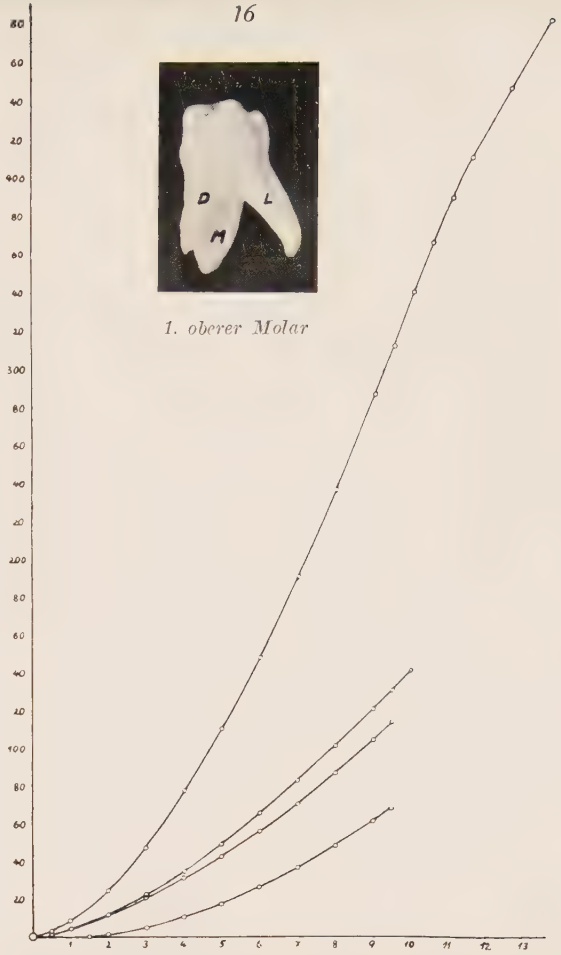


3. unterer Molar

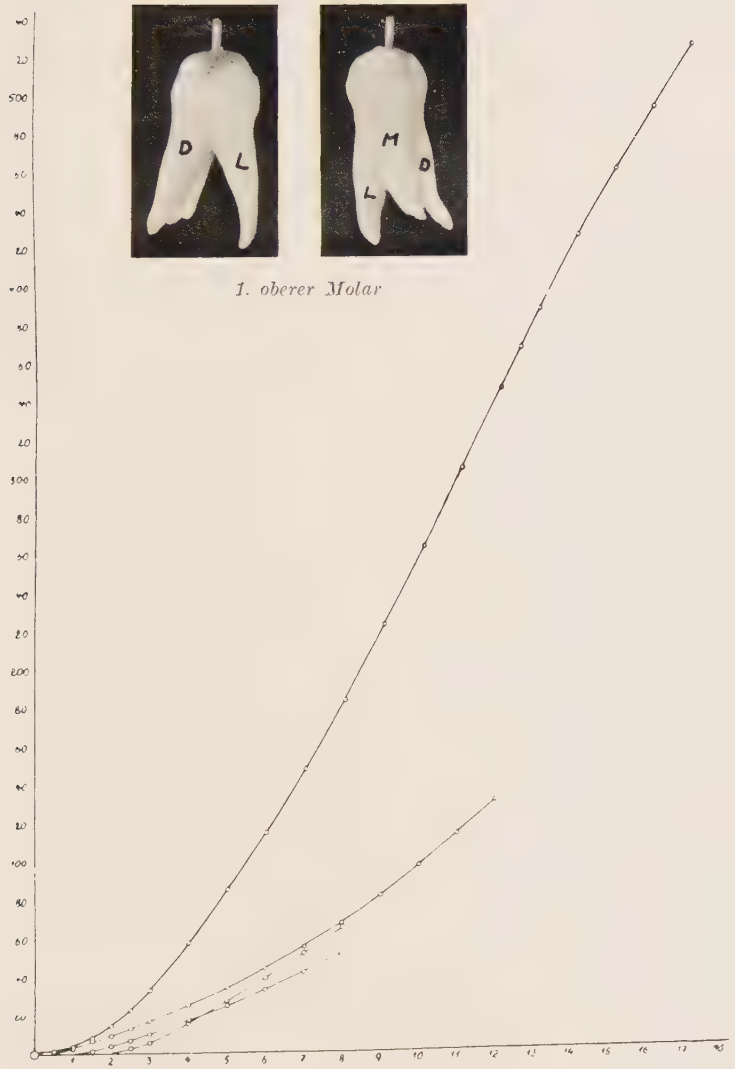


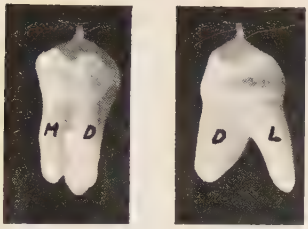
16

1. oberer Molar

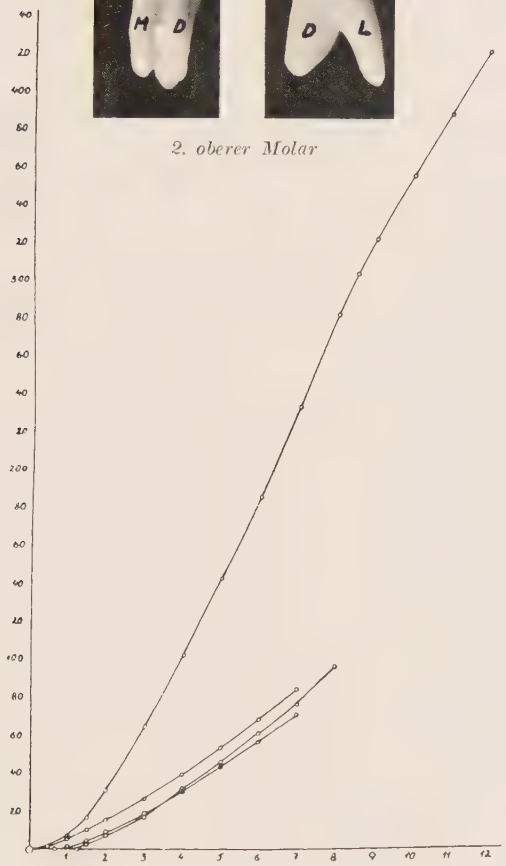


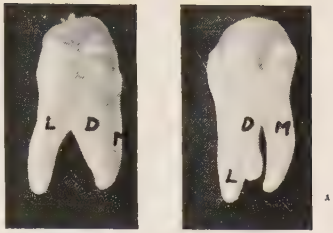
1. oberer Molar



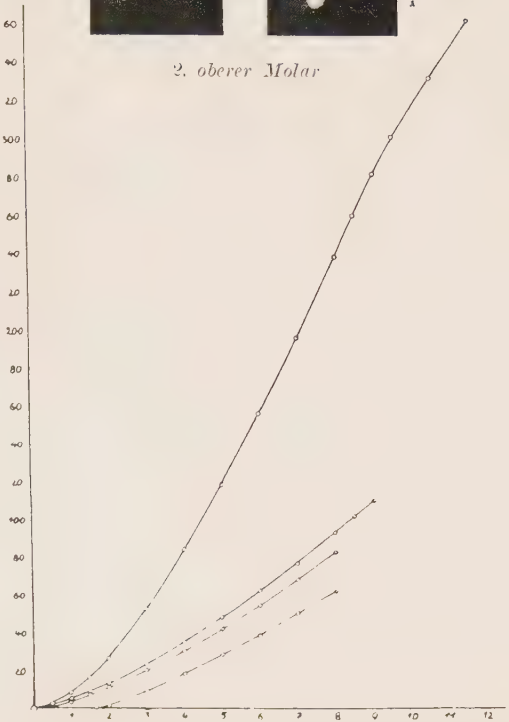


2. oberer Molar

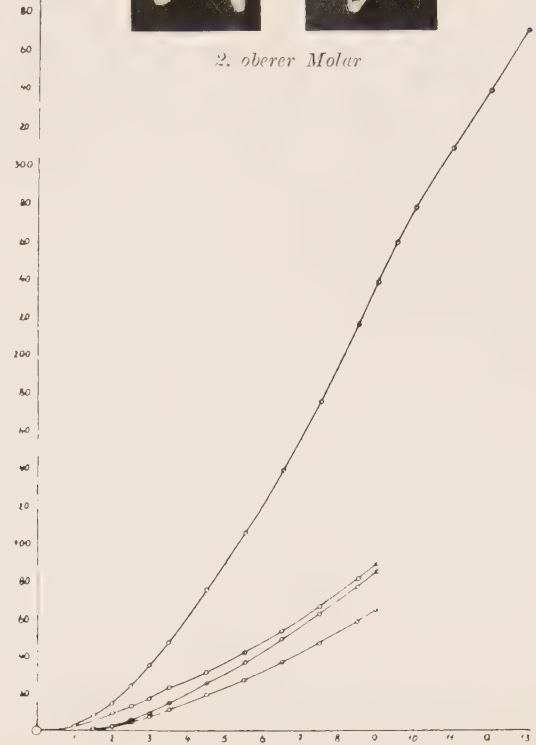




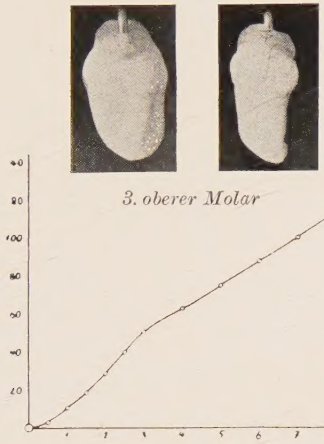
2. oberer Molar



2. oberer Molar

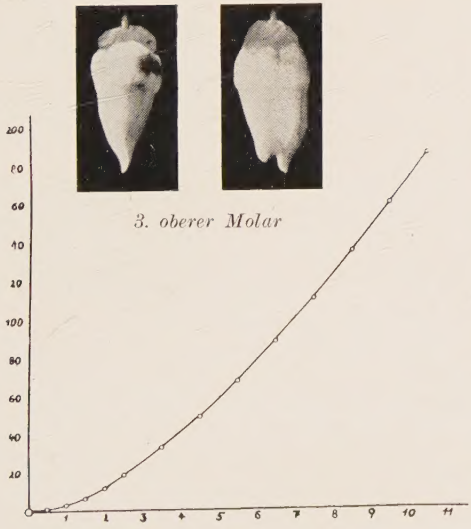


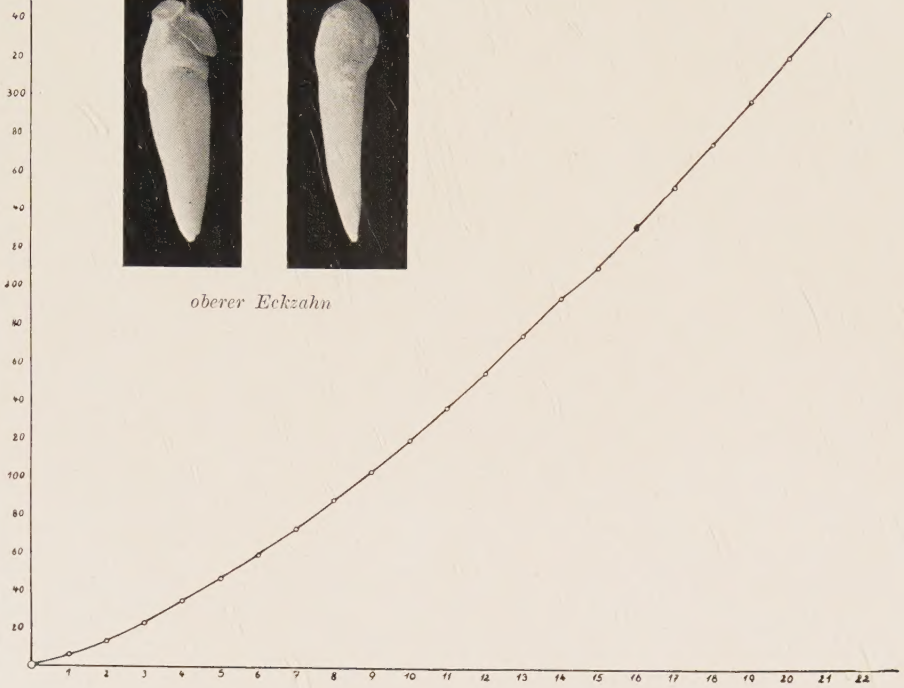
28



3. oberer Molar

29



3. oberer Molar

oberer Eckzahn